

**PENGARUH *TOOL PATH* DAN *FEED RATE* PADA PROSES MESIN
CNC *MILLING ROUTER 3 AXIS* DENGAN MATERIAL *ACRYLIC***



PUBLIKASI ILMIAH

Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada Jurusan Teknik
Mesin Fakultas Teknik

Oleh :

DWI WIJAYANTO

D 200 11 0003

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2016

HALAMAN PERSETUJUAN

PENGARUH *TOOL PATH* DAN *FEED RATE* PADA PROSES MESIN
CNC *MILLING ROUTER 3 AXIS* DENGAN MATERIAL *ACRYLIC*

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

DWI WIJAYANTO

D 200 11 0003

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Bambang Wahyu Febriantoko, ST, MT
NIK. 735

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH *TOOL PATH* DAN *FEED RATE* PADA PROSES MESIN
CNC *MILLING ROUTER 3 AXIS* DENGAN MATERIAL *ACRYLIC***

OLEH

DWI WIJAYANTO

D 200 11 0003

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari jum'at, 10 Juni 2016
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Bambang Waluyo Febriantoko, ST, MT
(Ketua Dewan Penguji)
2. Agus Dwi Anggono, ST, M.Eng, Ph.D
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Ir. Agus Hariyanto, MT
(Anggota II Dewan Penguji)

()
()
()

Dekan,



Ir. H. Sri Sanjono, MT, Ph.D
NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidak benaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 21 Mei 2016

Penulis



DWI WIJAYANTO

D 200 11 0003

PENGARUH *TOOL PATH* DAN *FEED RATE* PADA PROSES MESIN *MILLING CNC ROUTER 3 AXIS* DENGAN MATERIAL *ACRYLIC*

Dwi Wijayanto, Bambang Waluyo Febriantoko, Agus Dwi Anggono

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartosuro

Email : wijayantodwi42@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi tool path dan feed rate pada permukaan yang datar hasil pemesian CNC milling Router 3 axis pada material acrylic, terhadap kekasaran permukaan yang dihasilkan dalam satuan (Ra) mana yang hasilnya baik.

Penelitian ini menggunakan bahan acrylic dan menggunakan mesin CNC milling Router 3 axis dengan control mach3 proses pemesian dilakukan dengan variasi tool path dan variasi feed rate, dengan pengujian kekasaran permukaan dengan alat uji kekasaran (Roughness Tester Type TR200 dengan standar ISO).

Hasil penelitian menunjukan semakin rendah feed rate yang di gunakan pada proses mesin CNC milling Router 3 axis dengan material acrylic menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang semakin rendah, tingkat kekasaran pada proses mesin CNC milling Router 3 axis dengan material acrylic dengan variasi tool path zig-zag, parallel spiral dan one way dan feed rate 200,300,400 mm/min akan menghasilkan tingkat kekasaran antara N7 sampai dengan N8. Tingkat kekasaran permukaan paling rendah pada tool path parallel spiral dengan feed rate 200 mm/min sebesar 1,178 μm dengan nilai rata-rata nilai Roughness Average (Ra) sebesar 1,675 μm , sedangkan kekasaran permukaan paling tinggi pada tool path one way dengan feed rate 400 mm/min sebesar 2,555 μm dengan nilai rata-rata nilai Roughness Average (Ra) sebesar 2,482 μm . sehingga tingkat kehalusan yang paling bagus pada pengujian kekasaran permukaan dengan alat uji kekasaran (Roughness Tester Type TR200 dengan standar ISO) yaitu pada tool path parallel spiral dengan feed rate 200 mm/min.

Kata kunci : Tool Path, Feed rate, Acrylic, CNC milling Router 3 axis, Roughness Average (Ra) .

Abstracts

The aim of study is to determine the effect of tool path and feed rate variations on a flat surface of acrylic material machined by CNC milling Router 3 axis, on the surface roughness in unit of Roughness average (Ra).

This study used acrylic materials and CNC milling machine 3 axis Router with mach3 control. Machining process was conducted by varying the feed tool path and feed rate. Roughness Tester Type TR200 with ISO standards was used for surface roughness testing.

The results showed that the lower feed rate used in the process the lower value of surface roughness was. The level of roughness with variations of zig - zag, parallel spiral and one way tool path and feed rate of 200,300,400 mm/min produced the level of roughness between the N7 until N8. The lowest value of surface roughness in the parallel spiral tool path with a feed rate of 200 mm/min was at 1.178 μm with an average value of Roughness Average (Ra) was 1.675 μm , whereas the highest value of surface roughness on the one way tool path with a feed rate of 400 mm / min was at 2.555 μm with an average value of Roughness average (Ra) was 2.482 μm . Hence the highest level of fineness resulted from this study that was the spiral tool path parallel with feed rate of 200 mm/min.

Key Words : Tool Path, Feed rate, Acrylic, CNC milling Router 3 axis, Roughness Average (Ra)

1. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat, mengharuskan manusia untuk berfikir kreatif dalam melakukan inovasi. sebagai buktinya adalah semakin maju teknologi yang dapat di gunakan untuk meringankan dan mempermudah pekerjaan manusia dalam menjalani aktifitas setiap harinya. Hal yang paling mendasar dari perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi ini adalah semakin maju industri manufaktur, yang menyediakan produk-produk mesin untuk proses produksi maupun segi pendidikan baik yang bekerja secara manual maupun CNC (*Computer Numerical Control*).

Dalam Proses pemrosesan secara manual maupun CNC (*Computer Numerical Control*), tentu mampu melakukan proses pemrosesan secara cepat dan skala yang besar dan spesifikasi geometri yang di harapkan. Namun pada hasil proses pemrosesan sering terjadi kekasaran pada permukaan benda yang di kerjakan sangatlah berbeda. Kekasaran permukaan adalah salah satu penyimpangan yang disebabkan oleh kondisi pemotongan dari proses pemrosesan. Oleh karena itu, untuk memperoleh produk bermutu berupa tingkat kepresisian yang tinggi serta kekasaran permukaan yang baik, perlu didukung oleh proses pemrosesan yang tepat. Karakteristik kekasaran permukaan dipengaruhi oleh beberapa parameter pemotongan diantaranya yaitu kecepatan spindle (*spindle speed*), kedalaman potong (*Depth of cut*), alur pahat (*Tool path*), dan material benda kerjanya.

Karena mempunyai kelebihan dari mesin manual/konvensional alat yang di gunakan adalah Mesin CNC *milling router 3 axis*. Mesin CNC *milling router 3 axis* merupakan mesin perkakas yang di gunakan untuk melakukan pemotongan benda kerja dengan pahat yang berputar pada sumbunya, permukaan yang di potong baik berbentuk datar, sudut atau melengkung.

Penulis beranggapan tentang kualitas produk yang dihasilkan, dengan alur pahat (*Tool path*) yang berbeda dan Kecepatan pemakanan (*Feed rate*) yang berbeda dengan tipe pahat yang sama pada pengujian bahan *Acrylic* nilai tingkat kekasaran yang dihasilkan dari Mesin CNC *milling router 3 axis* maka berbeda nilai kekasaran yang di hasilkan.

2. TUJUAN

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Ada tidaknya pengaruh variasi *feed rate* (mm/min) terhadap tingkat kekasaran permukaan benda kerja hasil pemrosesan Mesin CNC *Milling router 3 axis* melalui uji kekasaran permukaan (*Surface roughness tester*).
2. Untuk mengetahui nilai (*Ra*) (μm) terbaik dari variasi alur pahat (*Tool path*) dan Kecepatan Pemakanan (*Feed rate*) terhadap tingkat kekasaran permukaan benda kerja hasil pemrosesan Mesin CNC router *Milling 3 axis* melalui uji kekasaran permukaan (*Surface roughness tester*).
3. Untuk mengetahui nilai (*Ra*) (μm) yang paling bagus melalui uji kekasaran permukaan (*Surface roughness tester*) dari variasi alur pahat (*Tool path*) dan Kecepatan Pemakanan (*Feed rate*).

3. BATASAN MASALAH

Untuk menghindari melebar nya masalah, maka perlu adanya pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Material spesimen adalah *acrylic tebal* 8 mm, Pemilihan bahan didasarkan karena bahan umum digunakan, yang dapat di beli di pasaran .
2. Proses pemrosesan menggunakan CNC *Milling router 3 axis* dengan sistem control *mach 3*.
3. Pahat yang digunakan adalah *APLUS MEMY-0302 3*2T*50L*.
4. Parameter pemrosesan terdiri atas: kecepatan putaran spindle (n) sebesar 7500 (rpm), kecepatan pemakanan (vf) sebesar 200 mm/min, 300 mm/min, 400 mm/min, kedalaman pemakanan (a) sebesar 0,5 (mm), dengan spesimen *acrylic* dengan panjang 100 mm, lebar 100 mm, dan tebal 8 mm .
5. Alur Pahat (*Tool path*) menggunakan *zig-zag, parallel spiral* dan *one way*.
6. Suhu ruangan pada proses pemrosesan dianggap selalu konstan (25°C)
7. Arus *output* pada Mesin CNC router *Milling 3 axis* dianggap sesuai dengan parameter yang di *input* operator.
8. Analisis hanya dilakukan pada parameter pemrosesan yang diaplikasikan.
9. Proses pengukuran dilakukan hanya pada kekasaran permukaan.
10. Analisa kekasaran permukaan dilakukan pada kekasaran rata-rata (*Ra*).

4. TINJAUAN PUSTAKA

Zubaidi, dkk. 2012. Melalui analisis pada kecepatan putar dan kecepatan pemakanan kekasaran permukaan material FCD 40 pada mesin bubut cnc pada uji 5 spesimen dengan variasi *feeding* 0,05; 0,10; 0,10; 0,20 mm/rev dan 0,25

mm dengan diameter material FCD 30 mm dan 5 spesimen dengan variasi rpm 700, 800, 900, 1000 dan 1100 dengan diameter material 25 mm, sedangkan pahat yang digunakan insert CNMG 120408N-UX tanpa pendingin. Pada proses permesinan menghasilkan spesimen yang memiliki kekasaran yang berbeda pada pengukuran kekasaran material menggunakan alat *surface tester* TR100 dengan mengambil 12 titik daerah pengecekan yang berbeda dari setiap proses spesimen. Pengambilan data pada setiap spesimen didapat hasil rata-rata dari harga R_a dan R_t/R_z data yang didapat bahwa terjadi peningkatan harga R_a dan R_t/R_z lebih dari 10% dengan penambahan 0.05 pada variasi feeding, sedangkan pada variasi rpm terjadi penurunan akan tetapi tidak lebih dari 10% per 100 rpm. Dimana feeding dan rpm sangat berpengaruh dari tingkat kekasaran permukaan spesimen dan geram yang di hasilkan.

Hermawan, dkk. 2012. Penelitian pengaruh kecepatan pemakanan dan kadar air terhadap kekasaran permukaan mesin CNC *milling* Type ZK 7040 pada material kayu jati yang komoditinya sangat diperlukan di dunia sebagai bahan-bahan yang di butuhkan untuk keperluan manusia diantaranya sebagai bahan bangunan, industri dan bahan kerajinan terutama kayu jati sangat di unggulkan di Indonesia sebagai bahan kerajinan ukir. Tetapi umur kayu dan kadar air pada kayu sangat mempengaruhi kualitas kayu, tingkat kekeringan kayu di Indonesia masih jarang dan cenderung diabaikan, dari kayu bulat hasil penebangan langsung dikerjakan menjadi produk setengah maupun produk akhir perilaku tersebut menimbulkan cacat-cacat kayu pada produk akhir. Dalam penelitian ini proses pengerjaan menggunakan mesin CNC *milling* dengan variasi tipe pahat yang berbeda dan kadar air pada kayu menghasilkan tingkat kekasaran permukaan yang berbeda pada saat pengujian dengan SURFCORDER SE-1700.

5. LANDASAN TEORI

5.1 Mesin CNC *Milling*

Secara garis besar, mesin CNC dibagi dalam 2 (dua) macam, yaitu : mesin bubut CNC dan mesin *frais/milling* CNC dan Mesin CNC *milling* dapat digolongkan menjadi dua, yaitu: mesin CNC *Milling TU (Training Unit)* dan mesin CNC *Milling Production*. Kedua mesin CNC tersebut mempunyai prinsip kerja yang sama, namun berbeda dalam penggunaan dan penerapannya.

5.2 Pengertian Mesin CNC *Milling Router*

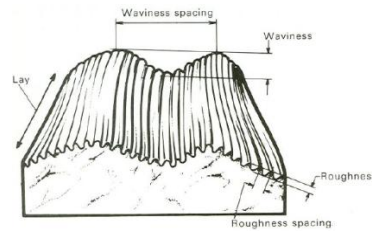
Mesin CNC *milling router* adalah mesin perkakas dengan sistem control menggunakan CNC (*Computer Numerical Control*) gerak utama berputar dan gerak makannya dilakukan oleh alat potong atau *cutter milling*. Mesin perkakas CNC *Router 3 axis* sistem kontrol PC (*Personal Computer*) Program CNC menggunakan perangkat lunak CAD/CAM. diubah oleh *software* Mach3 dan di kirimkan sinyal pada setiap sumbu x, y dan z melalui motor stepper menjadi perintah untuk mengoperasikan.

5.3 Pengertian Acrylic

Acrylic adalah plastik yang didapat dari reaksi gas minyak bumi. Material ini biasanya memiliki massa jenis yang ringan dan merupakan jenis plastik termoplastik yaitu suatu perubahan kondisi yang apabila jika dinaikan temperaturnya maka material ini akan berubah menjadi lunak dan sebaliknya akan berubah menjadi keras ketika didinginkan. Hal tersebut terbukti dengan banyaknya farian produk dengan material ini yang diperuntukan untuk kegunaan sehari-hari di dalam kehidupan dari dasar Acrylic.

5.4 Definisi Permukaan

Permukaan merupakan suatu batas yang memisahkan benda padat dengan sekitarnya yang berasal dari kata dasar muka. Dalam prakteknya, bahan yang sering digunakan untuk produk kebanyakan dari logam. Kadang-kadang ada pula istilah lain yang berkaitan dengan permukaan yaitu profil. Istilah profil sering disebut dengan istilah bentuk. Profil atau bentuk yang dikaitkan dengan istilah permukaan mempunyai arti tersendiri yaitu garis hasil pemotongan secara normal atau serong dari suatu penampang permukaan. Dengan melihat profil ini maka bentuk dari suatu permukaan pada dasarnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu permukaan yang kasar (*roughness*) dan permukaan yang bergelombang (*waviness*). Permukaan yang kasar berbentuk gelombang pendek yang tidak teratur dan terjadi karena getaran pisau (pahat) potong atau proporsi yang kurang tepat dari pemakanan (*feed*) pisau potong dalam proses pembuatannya. Setiap permukaan komponen dari suatu benda mempunyai beberapa bentuk yang bervariasi menurut strukturnya maupun dari hasil proses produksinya. Karakteristik permukaan tersebut ada yang bentuknya halus, dapat juga dalam bentuk kekasaran (*roughness*) maupun membentuk gelombang (*waviness*) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Bentuk-bentuk kekasaran dan gelombang pada permukaan dapat ditunjukkan pada gambar berikut. (Pranono, dkk., 2013.)



Gambar 1. Bentuk kasar (*roughness*) dan gelombang (*waviness*)

5.5 Metrologi Konfigurasi Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan penyimpangan rata-rata aritmatik dari garis rata-rata permukaan. Definisi ini digunakan untuk menentukan harga rata-rata dari kekasaran permukaan.

Dalam dunia industri, permukaan benda kerja memiliki nilai kekasaran permukaan yang berbeda, sesuai dengan kebutuhan dari alat tersebut. Nilai kekasaran permukaan berbeda, sesuai dengan kebutuhan dari alat tersebut. Nilai kekasaran permukaan memiliki nilai kualitas (N) yang berbeda. Nilai kualitas kekasaran permukaan telah diklarifikasikan oleh ISO dimana yang paling kecil adalah N1 yang memiliki nilai kekasaran $0,025 \mu\text{m}$.

Untuk mengetahui sebuah harga kekasaran dari suatu produk yang belum atau telah diproses membutuhkan suatu alat uji yang memiliki sensor hingga mencapai ukuran micro untuk mendapatkan hasil optimal dengan ukuran yang sangat kecil.

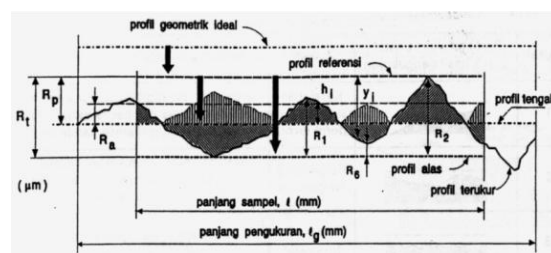
Alat ukur kekasaran permukaan adalah *Roughness Tester*. Setiap permukaan komponen dari suatu benda mempunyai beberapa bentuk yang bervariasi menurut strukturnya maupun dari hasil proses produksinya. *Roughness* atau kekasaran didefinisikan sebagai ketidakhalusan bentuk yang menyertai proses produksi yang disebabkan oleh pengerjaan mesin. Nilai kekasaran dinyatakan dalam *Roughness Average* (Ra). Ra merupakan parameter kekasaran yang paling banyak dipakai secara internasional. Ra didefinisikan sebagai rata-rata aritmatika dan penyimpangan mutlak profil kekasaran dari garis tengah rata-rata.

kekasaran permukaan diperoleh dari sensor pergerakan *stylus* berbentuk *diamond* untuk bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan sebagai alat *indicator* pengukur kekasaran permukaan benda uji. Prinsip kerja dari alat ini adalah dengan menggunakan *transducer* dan diolah dengan *mikroprocessor*. *Roughness Tester* dapat digunakan di lantai di setiap posisi, horizontal, vertikal atau di manapun.

Ketika mengukur kekasaran permukaan dengan *Roughness Tester*, sensor ditempatkan pada permukaan dan kemudian meluncur sepanjang permukaan seragam dengan mengemudi mekanisme di dalam *tester*. Sensor mendapat kekasaran permukaan dengan probe tajam *built-in*. Instrumen *roughness* meter ini kompatibel dengan empat standar dunia yaitu ISO, DIN, ANSI, dan JIS.

Profil *Geometric ideal* adalah garis permukaan sempurna yang dapat berupa garis lurus, lengkung abusur. Profil terukur adalah garis permukaan yang terukur. Profil referensi/puncak/acuan merupakan garis yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisa ketidak teraturan suatu bentuk permukaan. Profil alas adalah garis yang berada dibawah yaitu lembah. Profil tengah merupakan garis yang berada ditengah-tengah antara puncak tertinggi dan lembah terdalam.

Yang dimaksud dengan permukaan adalah suatu batas titik yang memisahkan sebuah benda padat dengan keadaan disekitarnya. setiap proses pengerjaan akan menghasilkan ciri tertentu pada permukaan benda yang dihasilkan. Untuk mengetahui sebuah harga kekasaran dari suatu produk yang belum atau telah diproses membutuhkan suatu alat uji yang memiliki sensor hingga mencapai ukuran *micro* untuk mendapatkan hasil optimal dengan ukuran yang sangat kecil.



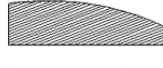


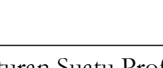
Gambar 2. Grafik Profil Permukaan.(Taufiq Rochim,2001).

Angka yang ada pada simbol kekasaran permukaan merupakan nilai dari kekasaran permukaan aritmatik (Ra). Oleh SI nilai Ra telah dikelompokkan menjadi 12 kelas kekasaran sebagaimana terlihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Nilai Kekasaran

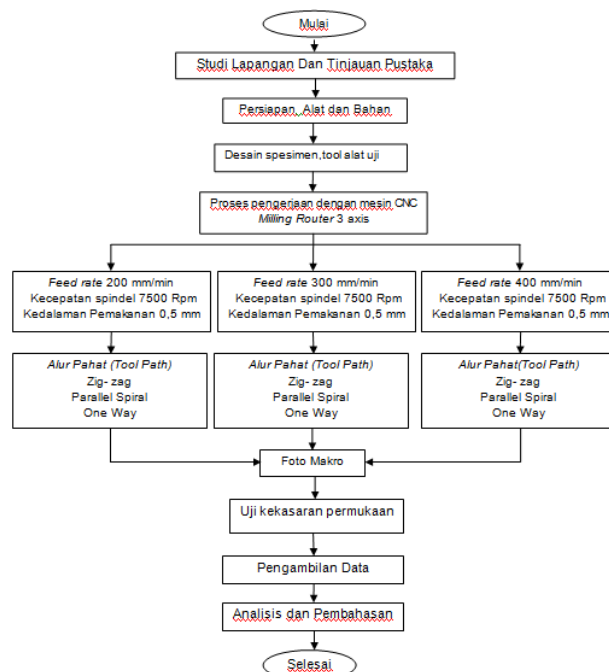
Kelas Kekasaran	Harga Ra (μm)	Toleransi (μm)	Panjang Sampel (mm)
N12	50	37,5 - 75	8
N11	25	18,5 - 37,5	
N10	12,5	9,6 - 18,5	
N9	6,3	4,8 - 9,6	2,5
N8	3,2	2,4 - 4,8	
N7	1,6	1,2 - 2,4	
N6	0,8	0,6 - 1,2	0,8
N5	0,4	0,3 - 0,6	
N4	0,2	0,15 - 0,3	
N3	0,1	0,08 - 0,15	0,25
N2	0,05	0,04 - 0,08	
N1	0,025	0,02 - 0,04	

Kelas kekasaran permukaan seperti diatas menjelaskan tentang tingkatan nilai kualitas kekasaran permukaan, dari yang paling kecil atau bagus yaitu N1 yang memiliki harga Ra 0,025 μm , hingga yang paling besar atau paling buruk N12 yang memiliki harga Ra 50 μm . (Pranono, dkk.,2013.)

Tingkat	Profil Terukur, Bentuk Grafik Hasil Pengukuran	Istilah	Contoh Kemungkinan Penyebabnya
1.		Kesalahan bentuk (<i>form error</i>)	Kesalahan bidang-bidang pembimbing mesin perkakas dan benda kerja, kesalahan posisi pencekaman benda kerja
2.		Gelombang (<i>waviness</i>)	Kesalahan bentuk perkakas, kesalahan penyenteran perkakas, getaran dalam proses pemesinan
3.		Alur (<i>grooves</i>)	Jejak/bekas pemotongan (bentuk ujung pahat, gerak makan)
4.		Serpihan (<i>flakes</i>)	Proses pembentukan beram, deformasi akibat proses pancar pasir, pembentukan <i>module</i> pada proses <i>electroplating</i> .

Gambar 3. Ketidakteraturan Suatu Profil (Konfigurasi Penampang Permukaan)

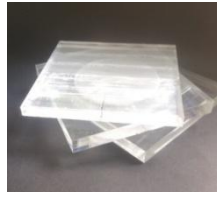
6.METODE PENELITIAN



Gambar 4. Diagram alir penelitian

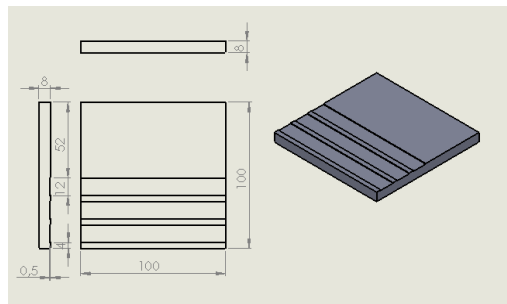
6.1 Bahan Penelitian

Bahan yang di gunakan adalah *acrylic* Bening dengan panjang dan lebar 100 mm dan tebal 8 mm.



Gambar 5. *Acrylic* Bening

6.2 Desain Benda Kerja



Gambar 6. Desain Benda Kerja

6.3 Tabel 2. Spesifikasi parameter Percobaan

Parameter	Percobaan			Hasil penelitian
Kecepatan spindel (rpm)	75000	75000	75000	Kekasaran Permukaan Benda hasil Proses
Kecepatan Pemakanan (mm/min)	0.2	0.3	0.4	
Kedalaman Pemakanan (mm)	0.5	0.5	0.5	
Alur Pahat (Tool path)	1. Zig-zag 2. Parallell Spiral 3. One way	1. Zig-zag 2. Parallell Spiral 3. One way	1. Zig-zag 2. Parallell Spiral 3. One way	

6.4. Alur Pahat (Tool Path) Yang Di Gunakan



Gambar 7. Alur Pahat (Tool Path)

6.5 Pahat *Endmill* Yang Di Gunakan



Gambar 8. *Endmill* APLUS MEMY-0302 3*2T*50L

6.6 Alat Yang Di Gunakan



Gambar 9. Mesin CNC *Milling Router 3 Axis* (Bengkel ruang produksi Bp. Bambang Waluyo Febriantoko, ST, MT)

6.7 Alat Pengujian



Gambar 10. Alat uji *Surface Roughness Tester type* TR200 (Lab. CAD/CAM Fakultas Teknik UMS)



Gambar 11. Alat *Fhoto Makro* merek DINOLITE (Lab.Fisika Dasar Fakultas Teknik UMS)

7.HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 3.Waktu yang di hasilkan pada proses *milling* dengan *stopwatch*

Kecepatan Spindel (Rpm)	Depth of cut (mm)	Feed Rate (mm/min)	Alur Pahat (Tool path)	Waktu (menit)
7500	0,5	200	1.Zig-zag	5 Menit,3 detik
			2.Parallel Spiral	5 Menit,24 detik
			3.One way	6 Menit,44 detik
		300	4.Zig-zag	3 Menit,32 detik
			5.Parallel Spiral	3 Menit,3 detik
			6.One way	5 Menit,10 detik
		400	7.Zig-zag	2 Menit,48 detik
			8.Parallel Spiral	2 Menit,54 detik
			9.One way	4 Menit,25 detik

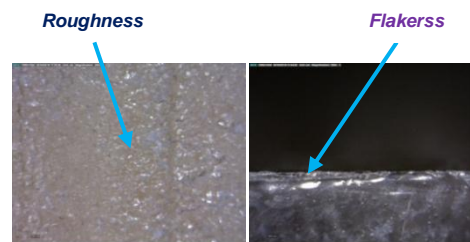
7.1 Hasil Foto Makro Perbesaran 220x



Gambar 12. Foto makro spesimen 1 (Kecepatan *spindle* 7500 Rpm, *Feed rate* 200 mm/min dan *Tool path* Zig-zag)



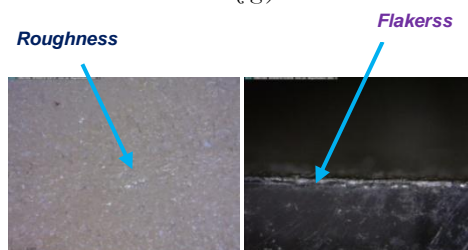
Gambar 13. Foto makro spesimen 2 (Kecepatan *spindle* 7500 Rpm, *Feed rate* 200 mm/min dan *Tool path* Parallel Spiral)



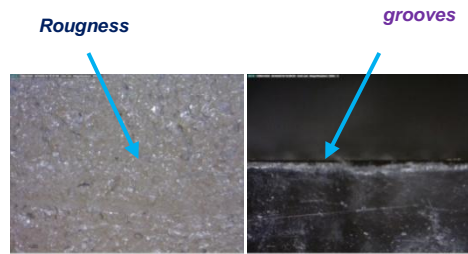
Gambar 14. Foto makro spesimen 3 (Kecepatan *spindle* 7500 Rpm, *Feed rate* 200 mm/min dan *Tool path* One way)



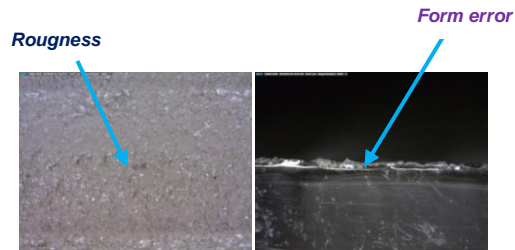
Gambar 15. Foto makro spesimen 4 (Kecepatan *spindle* 7500 Rpm, *Feed rate* 300 mm/min dan *Tool path* Zig-zag)



Gambar 16. Foto makro spesimen 5 (Kecepatan *spindle* 7500 Rpm, *Feed rate* 300 mm/min dan *Tool path* Parallel Spiral)



Gambar 17. Foto makro spesimen 6 (Kecepatan *spindle* 7500 Rpm, *Feed rate* 300 mm/min dan *Tool path One Way*)



Gambar 18. Foto makro spesimen 7 (Kecepatan *spindle* 7500 Rpm, *Feed rate* 400 mm/min dan *Tool path Zig-zag*)



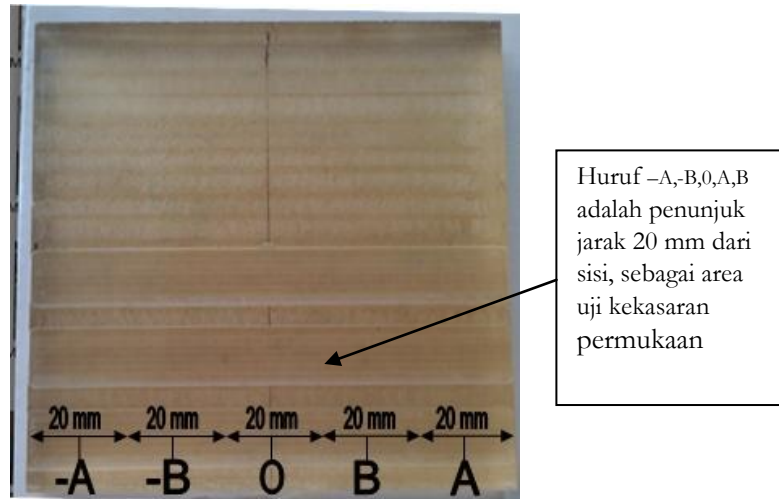
Gambar 19. Foto makro spesimen 8 (Kecepatan *spindle* 7500 Rpm, *Feed rate* 400 mm/min dan *Tool path Parallel Spiral*)



Gambar 20. Foto makro spesimen 9 (Kecepatan *spindle* 7500 Rpm, *Feed rate* 400 mm/min dan *Tool path One Way*)

7.2 Pembahasan

Dari pengamatan foto makro pada perbesaran 220 X pada permukaan dan samping sisi dari spesimen, penulis juga memperhatikan dengan kejelian mata terhadap permukaan dan samping spesimen. Dimana proses pemesinan *milling* untuk spesimen yang di hasilkan dengan alur pahat *zig-zag, spiral parallel, one way* dan *feed rate* 200,300,400 mm/min. dengan sembilan spesimen percobaan pada foto makro dapat jelaskan bahwa, permukaan yang di hasilkan pada foto makro mempunyai tingkat kekasaran dan tidakteraturan yang berbeda. dan foto makro yang di hasilkan dari samping mempunyai ketidakaturan dan bentuk permukaan spesimen berbeda. Seperti pada Spesimen 7 dan 8 mengalami *form error* (kesalahan bentuk), faktor yang disebabkan antara lain karena lenturan dari mesin perkakas, benda kerja dan pada pencekaman benda kerja. Pada spesimen 2 mengalami *waviness* (gelombang) faktor yang disebabkan adanya kesalahan bentuk pada pisau (pahat) potong dan posisi senter yang kurang tepat, Adanya getaran pada waktu proses pemotongan. pada spesimen 4 dan 6 mengalami *grooves* (permukaan yang berbentuk alur) faktor yang disebabkan bekas-bekas proses pemotongan akibat bentuk pisau potong yang salah atau gerak pemakanan yang kurang tepat (*feed*). pada spesimen 1,3,5 dan 9 mengalami *flakers* (permukaan yang berbentuk serpihan) faktor yang di sebabkan karena tatal (beram) pada proses pengerjaan terlalu banyak.



Gambar 21. Posisi uji kekasaran spesimen pada 5 titik

7.3 Data Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan

Kecepatan Spindel	Depth of cut	Titik Pengukuran	Alur Pahat (Tool path) (Ra) μm		
			Zig-zag	Parallel Spiral	One way
7500 Rpm	0,5 mm	-A	2,314	1,165	1,542
			2,349	1,208	1,526
			2,325	1,192	1,573
		Rata-rata	2,329	1,188	1,547
		-B	2,215	1,161	1,482
			2,325	1,159	1,512
			2,396	1,153	1,535
		Rata-rata	2,312	1,158	1,510
		0	2,204	1,150	1,481
			2,385	1,221	1,584
			2,317	1,205	1,543
		Rata-rata	2,302	1,192	1,536
		B	2,307	1,164	1,554
			2,372	1,134	1,558
			2,330	1,174	1,534
		Rata-rata	2,336	1,157	1,549
		A	2,189	1,230	1,535
			2,337	1,201	1,419
			2,404	1,150	1,587
		Rata-rata	2,310	1,194	1,514
		Rata-rata Total	2,318	1,178	1,531
		Rata - rata (Ra)	1,675		

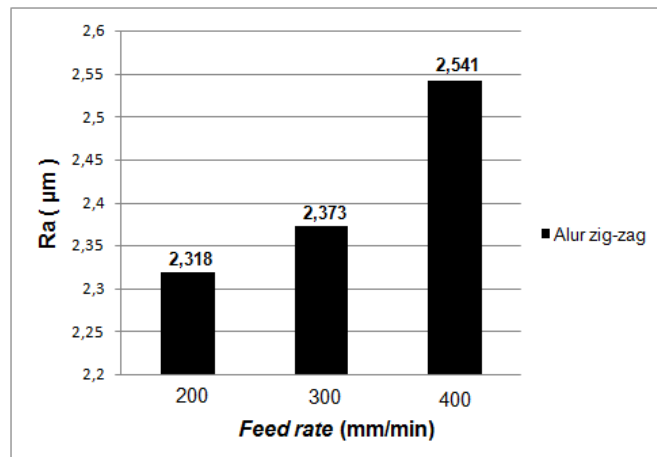
Gambar 22. Tabel Nilai Ra spesimen dengan feed rate 200 mm/min.

Kecepatan Spindel	Depth of cut	Titik Pengukuran	Alur Pahat (Tool path) (Ra) μm		
			Zig-zag	Parallel Spiral	One way
7500 Rpm	0,5 mm	-A	2,335	2,215	2,324
			2,453	2,285	2,331
			2,363	2,245	2,343
		Rata-rata	2,384	2,248	2,332
		-B	2,323	2,269	2,332
			2,436	2,215	2,323
			2,376	2,231	2,323
		Rata-rata	2,378	2,238	2,543
		0	2,414	2,245	2,564
			2,354	2,265	2,430
			2,330	2,214	2,548
		Rata-rata	2,366	2,241	2,514
		B	2,357	2,279	2,620
			2,294	2,263	2,486
			2,370	2,232	2,562
		Rata-rata	2,340	2,258	2,556
		A	2,323	2,249	2,616
			2,415	2,230	2,507
			2,457	2,255	2,527
		Rata-rata	2,399	2,245	2,550
		Rata-rata Total	2,373	2,246	2,325
		Rata-rata (Ra)	2,315		

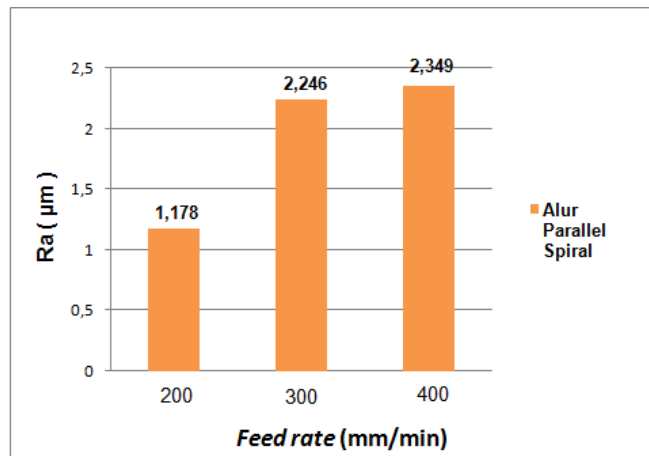
Gambar 23. Tabel Nilai Ra spesimen dengan *feed rate* 300 mm/min.

Kecepatan Spindel	Depth of cut	Titik Pengukuran	Alur Pahat (Tool path) (Ra) μm		
			Zig-zag	Parallel Spiral	One way
7500 Rpm	0,5 mm	-A	2,523	2,359	2,613
			2,614	2,392	2,613
			2,511	2,285	2,614
		Rata-rata	2,549	2,345	2,614
		-B	2,572	2,366	2,593
			2,543	2,346	2,519
			2,455	2,359	2,519
		Rata-rata	2,523	2,357	2,543
		0	2,552	2,374	2,564
			2,532	2,343	2,430
			2,513	2,310	2,548
		Rata-rata	2,532	2,342	2,514
		B	2,557	2,284	2,620
			2,598	2,348	2,486
			2,464	2,339	2,562
		Rata-rata	2,540	2,324	2,556
		A	2,563	2,357	2,616
			2,608	2,4223	2,507
			2,519	2,349	2,527
		Rata-rata	2,563	2,376	2,550
		Rata-rata Total	2,541	2,349	2,555
		Rata-rata (Ra)	2,482		

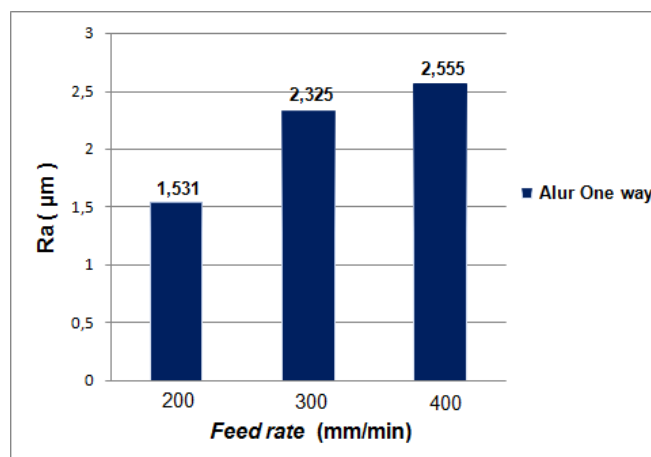
Gambar 24. Tabel Nilai Ra spesimen dengan *feed rate* 400 mm/min.



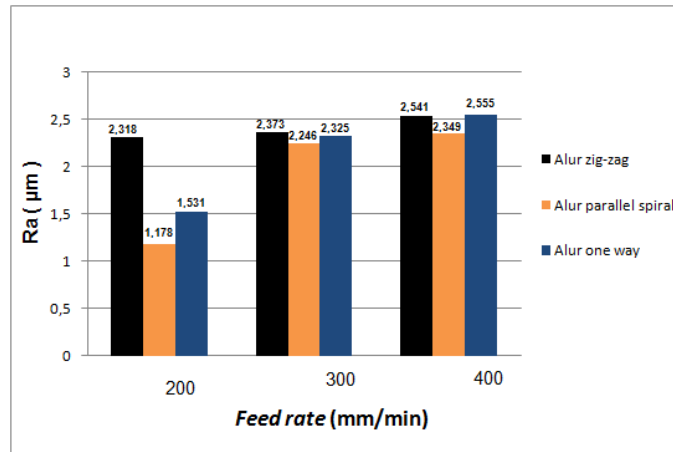
Gambar 25. Grafik Pengaruh kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan dengan alur pahat *zig-zag*.



Gambar 26. Grafik Pengaruh kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan alur pahat *parallel spiral*.



Gambar 27. Grafik Pengaruh kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan dengan alur pahat *One way*.



Gambar 28. Grafik Pengaruh kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan dengan alur *pahat zig-zag, parallel spiral, One way*

8. PENUTUP

Dari data yang diperoleh, Grafik alur pahat (*Tool path*) *zig-zag* menunjukkan bahwa yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang terendah adalah pada *feed rate* 200 mm/min dengan nilai *Ra* 2,318 μm dan yang tertinggi pada *feed rate* 400 mm/min dengan nilai *Ra* 2,541 μm . Grafik alur pahat (*Tool path*) *Parallel Spiral* menunjukkan bahwa yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang terendah adalah pada *feed rate* 200 mm/min dengan nilai *Ra* 1,178 μm dan yang tertinggi pada *feed rate* 400 mm/min dengan nilai *Ra* 2,349 μm . Grafik alur pahat (*Tool path*) *One Way* menunjukkan bahwa yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang terendah adalah pada *feed rate* 200 mm/min dengan nilai *Ra* 1,531 μm dan yang tertinggi pada *feed rate* 400 mm/min pada nilai *Ra* 2,555 μm .

8.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa pengujian serta pembahasan data yang diperoleh, dapat disimpulkan :

1. Ada Pengaruh kecepatan pemakanan (*feed rate*) terhadap kekasaran permukaan. Semakin rendah kecepatan pemakanan (*feed rate*) yang di gunakan dalam pemesinan CNC Router 3 axis pada bahan *acrylic* menghasilkan angka kekasarannya yang rendah, sebaliknya Semakin tinggi kecepatan pemakanan (*feed rate*) yang di gunakan menghasilkan angka kekasarannya yang tinggi.
2. Ada Pengaruh alur pahat (*Tool path*) pada Tingkat kekasaran bahan *acrylic* melalui uji kekasaran permukaan (*surface roughness tester*) yaitu :
 - a) Kecepatan Pemakanan (*feed rate*) 200 mm/min
Hasil terbaik pada alur *parallel spiral* sebesar 1,178 μm dengan Nilai rata – rata *Ra* sebesar 1,675 μm .
 - b) Kecepatan Pemakanan (*feed rate*) 300 mm/min
Hasil terbaik pada alur *parallel spiral* sebesar 2,246 μm dengan Nilai rata – rata *Ra* sebesar 2,315 μm .
 - c) Kecepatan Pemakanan (*feed rate*) 400 mm/min
Hasil terbaik pada alur *parallel spiral* sebesar 2,349 μm dengan Nilai rata – rata *Ra* sebesar 2,482 μm .
3. Tingkat kehalusan yang paling bagus dari proses pemesinan dan pengujian kekasaran permukaan (*surface roughness tester*) yaitu pada alur *parallel spiral*

8.2 Saran

Dari keseluruhan proses penelitian ini penulis mempunyai saran yang perlu diperhatikan, diantaranya :

1. Dalam proses penelitian ini Untuk material uji, sebaiknya di perhatikan ukurannya sehingga dapat menghemat biaya.
2. Penelitian yang dapat di kembangkan mengenai variasi-variasi lain untuk kekasaran permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- A.Zubaidi, I. Syafa'at Darmanto.2012. Analisis pengaruh kecepatan putar dan kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan material FCD 40 pada mesin bubut CNC,Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Arif Budi Hermawan, Danar Susilo Wijayanto.2012. dan Herman Saputro.Pengaruh Kecepatan Pemakanan Dan Kadar Air Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses *Milling Cnc 3 Axis* Dengan Material Kayu Jati, Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Pendidikan Teknik Kejuruan, FKIP, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Dallas, Daniel B, *Tool and Manufacture Engineers Handbook, A Reference Work For Manufacturing Engineers*, McGraw-Hill, Copyright 1976.
- Fajar Rahmadi.2010. Optimasi Parameter Proses Pemesinan Cnc Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Baja St 40 Dengan Metode Taguchi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Farahnakian, M., Razfar, M.R., & Joosheghan, S.E. (2012).*Optimum Surface Roughness Prediction in Face Milling of High Silicon Stainless Steel*.Diperoleh 18 April 2016.
<http://www.Waset.org/journals/ijmac/v6/v6-40.pdf>
- FX Sugeng Riyanto, *CAD to NC, NC program Generator inside Auto CAD*, PPSE UI, 2000.
- Lou, Mike S & Chen, Yoseph C, *Surface Roughness Prediction Technique for CNC End-Milling*, Journal of Industrial Technology, Taiwan, 1998.
- Montgomery, D C, *Design and Analysis of Experiment (4th ED)*, New York, John Wiley & Sons, 1997.
- Pranjono,dkk.,2013,PengukuranKekasaranPermukaanTutup Kelongsong Dari Zirkaloi Menggunakan Alat *Roughness Tester Surtronic-25*, Bidang Bahan Bakar Nuklir, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN)-Batan, Serpong.
- Rochim,T.(2001).Spesifikasi, Metrologi,dan Kontrol Kualitas Geometrik. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Wallner, Johaness & Glaeser, Georg & Pottman, Helmut, *Geometric Contributions to 3-Axis Milling of Sculptured Surface*, Journal of Technology, Institute fur Geometric, Technische Universitat Wien, Austria, 2000.
- Yang, John L & Chen, Yoseph C, *A Systematic Approach for Identifying Optimum Surface Roughness Performance in End-Milling Operations*, Journal of Industrial Technology, Taiwan, 2001.
- Zulhendri,Gandjar Kiswanto,Yazmendra Rosa,2007.Pengaruh tipe pahat dan arah pemakanan permukaan berkontur padapemesinan milling awal dan akhir terhadap kekasaran permukaan. Staf Pengajar Jurusan Teknk Mesin Politeknik Negeri Padang,Staf Pengajar Jurusan Teknk Mesin Universitas Indonesia.
- http://www.machsupport.com/docs/Mach3Mill_Install_Config.pdf